



สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

ลงทะเบียนวันที่	24 ธ.ค. 2550
เลขที่	040120
ชื่อผู้วิจัย	ดร.
ชื่ออาจารย์	TK
ชื่อผู้ช่วย	7876
ชื่อผู้ช่วย	82870
ชื่อผู้ช่วย	๒๓๓๐๐๐๐๐

การออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยาง (Microwave Oven Design and Construction for Rubber Industry)

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร.สมหมาย ผิวสอาด

(หัวหน้าโครงการ)

ดร.ฉันททิพ คำนวนนิตพิสัย

(ผู้ร่วมงานวิจัย)

นายอำนาจ ลาภเกษมสุข

(ผู้ร่วมงานวิจัย)

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยาง
(Microwave Oven Design and Construction for Rubber Industry)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยาง ให้มีกำลังในการทำงานสูงสุด 800 วัตต์ โดยควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ มีระบบที่สามารถวัดอุณหภูมิของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้ thermo couple type K ในการวัดอุณหภูมิ และบันทึกข้อมูลด้วย Data logger โดยเตาที่ออกแบบและจัดสร้างสามารถระเหยน้ำออกจากน้ำยางได้เร็วกว่าเตาให้ความร้อนปกติที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสถึง 60 เท่า

คำนำ

กระบวนการผลิตวัสดุโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุ นอกจากนี้การผลิตวัสดุโดยใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟยังช่วยปรับปรุงและเพิ่มสมบัติของวัสดุให้ดีขึ้น หรือแตกต่างไปจากวัสดุที่ผลิตด้วยการใช้ความร้อนแบบอื่นประโยชน์ที่ได้รับจากการผลิตวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟมี

หลายประการ จึงเป็นแรงบันดาลใจให้คณะผู้จัดทำสนใจในการนำคลื่นไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ คลื่นไมโครเวฟสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุที่หลากหลาย เช่นใช้ในการอบแห้งยางและการวัลคาไนเซชัน (vulcanization) ในอุตสาหกรรมยาง ใช้ในการบ่มสาร (curing) สำหรับเทอร์โมเซตเรซิน (thermoset resin) เพื่อลดเวลาในการผลิต สำหรับอุตสาหกรรมโพลิเมอร์กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับอุตสาหกรรมผลิตยาง แต่ในประเทศไทยยังมีการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในอุตสาหกรรมยางน้อย เนื่องจากยังขาดความเข้าใจถึงพฤติกรรมของยางที่ตอบสนองต่อคลื่นไมโครเวฟ ตลอดจนขาดความเข้าใจในเรื่องของเทคโนโลยีไมโครเวฟ ตลอดจนราคาของเตาไมโครเวฟที่จะใช้ในอุตสาหกรรมยางมีราคาสูงมากเป็นจำนวนหลายล้านบาท และนอกจากนี้ยังต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟต้นแบบที่จะสามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตยาง โดยจะใช้วัสดุ และอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาและพัฒนาการใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟสำหรับอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์ยางในประเทศไทยต่อไปในอนาคต

ในโอกาสนี้ คณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณต่อคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในการสนับสนุนเงินทุนการจัดทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ต่างๆ ในการจัดทำ รวมทั้งบุคคลต่างๆ ที่ไม่อาจกล่าวชื่อได้หมดในการสนับสนุนคณะผู้จัดทำทั้งกำลังกายและกำลังใจ จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จไปอย่างดี

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
กําน่า	2
สารบัญ	3
บทที่ 1 บทนำ	4
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	4
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	6
1.3 ขอบเขตของโครงการ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ขงธรรมชาติ	7
2.2 คลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ	11
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง	17
3.1 การจัดหาวัสดุในการทำแม่พิมพ์	17
3.2 การออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟ	17
3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของเตาไมโครเวฟ	17
บทที่ 4 ผลการทดลอง	18
4.1 การจัดหาวัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์	18
4.2 การออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟ	19
4.3 ทดสอบประสิทธิภาพของเตาไมโครเวฟ	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	37
เอกสารอ้างอิง	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติรายใหญ่ของโลก ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้เข้าประเทศนับแสนล้านบาท และมีพื้นที่สำหรับปลูกยางทั่วประเทศถึง 12.3 ล้านไร่ [1] จากสถานการณ์ในปี 2544 ราคายางธรรมชาติตกต่ำ ผลผลิตล้นตลาด โดยในปี 2544 ประเทศไทยผลิตยางธรรมชาติได้ถึง 2.41 ล้านตัน และเป็นประเทศที่ส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยสัดส่วนการส่งออกเป็นร้อยละ 42.3 ของปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของโลก ในการส่งออกต่างประเทศส่วนใหญ่คิดเป็นปริมาณ 2.08 ล้านตัน เป็นมูลค่า 46,355 ล้านบาท จะอยู่ในรูปของยางแผ่นรมควันและยางแท่ง ส่วนที่เหลือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตล้อรถยนต์ ถังมือยาง ถังยางอนามัย และยางรัดของ จากการที่ปริมาณการส่งออกและความต้องการใช้ยางธรรมชาติในประเทศลดลง ขณะที่ผลผลิตภายในประเทศยังคงเพิ่มขึ้น ทำให้สต็อกของยางในประเทศไทยในปี 2544 มีจำนวนเท่ากับ 312,787 ตัน เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 65.8 เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจที่ซบเซาของตลาดส่งออกที่สำคัญอย่าง สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป และ ญี่ปุ่น ดังนั้นรัฐบาลไทยจึงพยายามส่งเสริมให้มีการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศให้มากขึ้น เพื่อลดการพึ่งพาการส่งออก[2] แต่การใช้ยางภายในประเทศยังมีปริมาณน้อยเนื่องจากข้อจำกัดหลายปัจจัย อาทิเช่น โรงงานขาดเทคโนโลยีการผลิต โดยเฉพาะโรงงานขนาดเล็ก-กลาง ผู้ใช้และผู้บริโภคขาดข้อมูลของชนิดของผลิตภัณฑ์และยังไม่ทราบว่าผลิตภัณฑ์ใดผลิตจากยางธรรมชาติ ผู้ใช้และผู้บริโภคขาดความเชื่อมั่นในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และรูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ไม่จูงใจ ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการวิจัยด้านอุตสาหกรรมเพื่อให้เกษตรกร หรือผู้ประกอบการนำไปใช้ โดยแบ่งเป็นการพัฒนายางดิบ และการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง ประเภทแรกเน้นการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร และผู้ประกอบการนำไปใช้แบ่งเป็นการพัฒนายางดิบ ยางขึ้น ยางแผ่น และยางแท่งให้ได้คุณภาพมาตรฐาน ส่วนการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เน้นในเรื่องของการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ และการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต นอกจากนี้ทางคณะรัฐมนตรีมีมติเป็นครั้งแรกในรอบ 100 ปี ให้ไทยมียุทธศาสตร์การพัฒนายางของประเทศ 35 หน่วยงานทั้งของภาครัฐ เอกชนและสถาบันเกษตรกรที่เป็นนิติบุคคลใช้ในการจัดทำแผนปฏิบัติการที่ตนเองเกี่ยวข้อง ทำให้มีความเป็นเอกภาพและเอื้อประโยชน์ร่วมกัน [3]

ในอุตสาหกรรมการผลิตยางดิบ เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง กระบวนการที่สำคัญคือการทำยางแห้ง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานาน สิ้นเปลืองพลังงานมาก และต้องระมัดระวังป้องกันไม่ให้ยางขึ้นแผ่นยาง ถ้ามีเทคโนโลยีหรือกรรมวิธีที่สามารถทำให้ยางแห้งได้ในเวลาอันรวดเร็ว น่าจะเป็นการดีที่สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตในเรื่องของพลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้ยางแห้ง เทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจในการใช้ในการอบแห้งยางคือการใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งสามารถทำให้น้ำที่อยู่ในเนื้อยางแผ่นดิบร้อนขึ้นและระเหยออกไปได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง กระบวนการที่สำคัญที่สุดคือกระบวนการวัลคาไนเซชัน (vulcanization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของยางจะมีการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีจากเส้นตรง (linear) เป็นร่างแห (crosslink) ทำให้มีสมบัติเชิงกลที่แข็งแรงขึ้นและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในกระบวนการวัลคาไนเซชันนั้นยางจะต้องมีการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารเชื่อมโยง (crosslink agent) โดยต้องใช้ความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยา และในกระบวนการวัลคาไนเซชันนี้เอง เป็นกระบวนการที่ใช้เวลาและพลังงานมากที่สุดในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง ดังนั้นการใช้คลื่นไมโครเวฟจึงเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่เป็นทางเลือกที่ดีในการลดเวลาและพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการวัลคาไนเซชัน ทำให้ต้นทุนในการผลิตสินค้าลดลง และมีกำลังการผลิตที่สูงขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศไทยในตลาดค้ายางสากลในอนาคต

กระบวนการผลิตวัสดุโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุ และมีความแตกต่างจากกระบวนการผลิตวัสดุด้วยวิธีอื่นๆ อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่ช่วยในการผลิตวัสดุบางชนิดที่วิธีการผลิตโดยใช้การแผ่ความร้อนธรรมดา (radiant heating) ไม่สามารถทำได้ นอกจากนี้การผลิตวัสดุโดยใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟยังช่วยปรับปรุงและเพิ่มสมบัติของวัสดุให้ดีขึ้น หรือแตกต่างไปจากวัสดุที่ผลิตด้วยการใช้ความร้อนแบบอื่น ประโยชน์ที่ได้รับจากการผลิตวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟมีหลายประการได้แก่ ทำให้ความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในเนื้อวัสดุและความร้อนเกิดขึ้นภายในอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นวัสดุที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟ จึงเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อนวิธีอื่นๆ ทำให้ประหยัดเวลาและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะและคุณภาพที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นพลังงานสะอาด ระบบทำงานเงียบ ไม่รบกวนสิ่งแวดล้อม

คลื่นไมโครเวฟสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุที่หลากหลาย เช่น ใช้ในการ อุ่น ปรุง อบแห้ง และการทำพลาสเจอร์ไรเซชัน ในอุตสาหกรรมอาหารและยา ใช้ในการอบแห้งและการเผา ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ใช้ในการเร่งการแข็งตัวของคอนกรีตในงานก่อสร้าง ใช้ในการอบแห้งยางและการวัลคาไนเซชัน (vulcanization) ใน

อุตสาหกรรมยาง ใช้ในการบ่มสาร (curing) สำหรับเทอร์โมเซตเรซิน (thermoset resin) เพื่อลดเวลาในการผลิต สำหรับอุตสาหกรรมโพลีเมอร์

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยใช้คลิ่น

ไมโครเวฟ เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตยาง แต่ในประเทศไทยยังมีการประยุกต์ใช้คลิ่นไมโครเวฟในอุตสาหกรรมยางน้อย เนื่องจากยังขาดความเข้าใจถึงพฤติกรรมของยางที่ตอบสนองต่อคลิ่นไมโครเวฟ ตลอดจนขาดความเข้าใจในเรื่องของเทคโนโลยีไมโครเวฟ ตลอดจนราคาของเตาไมโครเวฟที่จะใช้ในอุตสาหกรรมยางมีราคาสูงมากเป็นจำนวนหลายล้านบาท และนอกจากนี้ยังต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟต้นแบบที่จะสามารถ

- ประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตยาง โดยจะใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ภายในประเทศ เป็นส่วนใหญ่ เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาและพัฒนาการใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยางในประเทศไทยต่อไปในอนาคต

1.2. วัตถุประสงค์

ออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยาง

1.3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

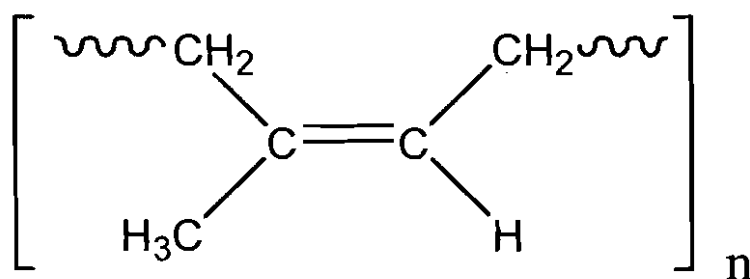
ออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยาง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อย ชนิดเดียวที่ซ้ำๆ กัน (Repeating unit) เป็นจำนวนมาก มีสมบัติที่สำคัญคือความยืดหยุ่น โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติประกอบด้วย คาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม C_5H_8 มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (isoprene) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะเรียงตัวกันในแบบ cis-configuration เรียกชื่อโมเลกุลยางว่าเป็น cis-1,4-polyisoprene มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณหนึ่ง ล้าน พืชที่ให้น้ำยางสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงการค้าในรูปน้ำยางคือ ยางพารา และ ยางวอยยูเล่ แต่ที่ใช้ประโยชน์เชิงการค้ามากคือ ยางพารา



รูปที่ 2.1 cis-1,4-polyisoprene

น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม โดยมีอนุภาคยางแขวนลอย กระจายอยู่ทั่วกลางที่เรียกว่าเซรัม (Serum) อนุภาคยางมีรูปร่างกลมหรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05 - 5 ไมครอน ความหนาแน่น 0.975 - 0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีความเป็นกรด - ด่างประมาณ 6.5 - 7.0 มีส่วนประกอบดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำยางสด [4]

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	33
สารกลุ่มโปรตีนและไขมัน	1 - 1.5
สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต	1
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำ	~ 64

ผิวของอนุภาคยางมีเยื่อหุ้ม (membrane) ที่ประกอบด้วยไขมันและโปรตีนโดยแต่ละอนุภาคมี อนุมูลตบ ของโปรตีนอยู่รอบนอก ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งมีผลให้น้ำยางสามารถคง สภาพ เป็นของเหลวได้ ดังนั้นเมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มอนุภาคหรือมีการสะเทินอนุมูลตบ จะทำให้อนุภาค ยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลาง เกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อน เมื่อได้น้ำยางสดจากต้นหากไม่มีการรักษา

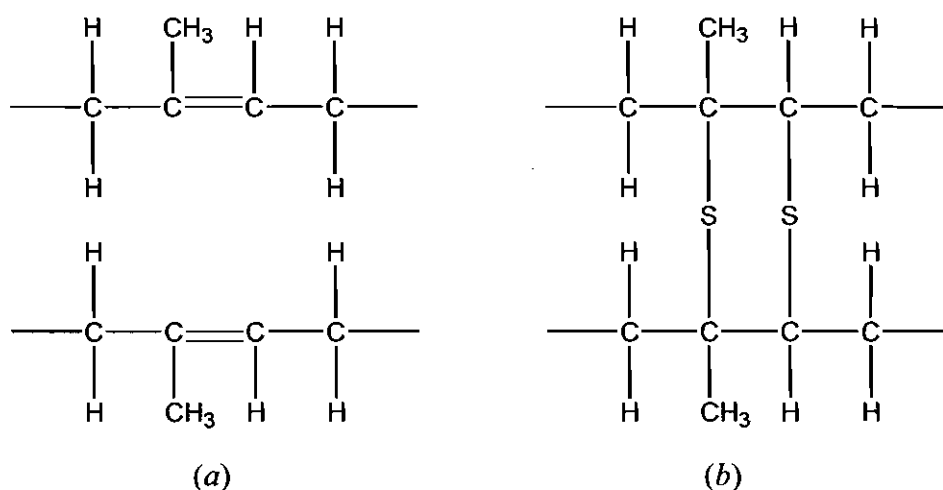
สภาพน้ำยางจุลินทรีย์ในอากาศจะลงปะปนในน้ำยางและใช้สารกลุ่มน้ำตาลเป็นอาหาร ทำให้เกิดความเป็นกรด นั่นคือมีอนุมูลตบวุกเกิดขึ้นและเกิดปฏิกิริยาสะเทินกับอนุมูลตบรอบ ๆ ผิวอนุภาคยาง ทำ ให้น้ำยางเสียสภาพก่อนจะนำไปแปรรูป ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางโดยการเติมสารเคมี สารเคมีที่ใช้จะต้องมีสถานะเป็นด่าง ที่นิยมใช้ได้แก่ แอมโมเนีย เติลงลงในน้ำยางเพื่อป้องกันการที่ยางจะ จับตัวกันเป็นก้อน จากนั้นจึงนำน้ำยางไปเข้าสู่กระบวนการแปรรูปต่อไป อุตสาหกรรมการแปรรูปน้ำยาง สด เพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง สามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ การผลิตน้ำ ยางข้น และการผลิตยางแห้ง โดยยางแห้งจะอยู่ในรูปของ ยางแผ่นดิบ (Unsmoked Sheet, USS), ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet, RSS), ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air Dried Sheet, ADS), ยางเครพ (Crepe) และ ยางแท่ง (Block rubber) กรรมวิธีการการทำยางแผ่น เริ่มจากการรวบรวมน้ำยาง แล้วกรองแยกสารอื่นๆ หรือสิ่ง สกปรกออกจากน้ำยาง ด้วยแรงขนาด 40, 60 และ 80 เมตร (แรงแสดงเลข ใช้กับน้ำยางที่มีแอมโมเนีย แรงเหลือกรรมดาใช้น้ำยางสด ที่ไม่ใส่แอมโมเนีย) หลังจาก

นั้นจับตัวน้ำอย่างเป็น ก้อนด้วยกรดฟอร์มิค หรือกรดอะซิติก แล้วผ่านจักรรีดยาง หรือเครื่องรีดยาง ได้ยางแผ่นหนา ประมาณ 2-3 มิลลิเมตร เป็นยาง แผ่นดิบผึ่งแผ่นยางใน ที่ร้อนจนสะเด็ดน้ำก่อน (ประมาณ 2 ชั่วโมง) แล้วอบยางแผ่นดิบให้แห้งด้วย ควันไฟ (อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส) ในโรง ร่มควัน เป็นเวลาประมาณ 4-10 วัน ได้ยางแผ่นรมควัน (RSS, Ribbed Smoked Sheet) ที่แห้ง จะถูกนำมา พิจารณาจัดแยกชั้นโดยใช้สายตา (Visual Grading) ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญมาก เมื่อ จัดแยกชั้น ยาง แล้วจึงนำยางไปอัดเป็นก้อน ก้อนละประมาณ 100 กิโลกรัมหรือ 114 กิโลกรัมห่อก้อนยางด้วย ยางแผ่นคุณภาพชั้นเดียวกับภายในก้อน และฉาบผิวยางด้วย สารละลายยางผสมแป้งเพื่อกัน ก้อนยางเหนียวติดกัน ในกรณีของยางแผ่นผึ่งแห้ง (ADS, Air Dried Sheet หรือ PAUS, Pale Amber Unsmoked Sheet) ในความหมายตาม ระบุไว้ในหนังสือ Green Book คือ ยางแผ่นที่มีสีจางผ่าน กรรมวิธีการ ผลิตทำนองเดียวกันกับ การผลิตยางแผ่นรมควัน แต่มีเงื่อนไขการผลิต ที่เข้มงวด กว่า และมีวิธีการทำให้แผ่นยางแห้งโดยลมร้อนที่ปราศจากควันไฟ ปราศจากการเติม สารเคมีอื่นๆ ที่นอกเหนือไปจากสารเคมีที่ยอมรับ ได้แก่ โซเดียมไบซัลไฟด์ และพาราไนโตรฟินอล

เนื่องจากยางแผ่นผึ่งแห้งไม่มีการจัดชั้นคุณภาพดี-เลว จะมียางแผ่นผึ่งแห้งเพียงชั้น เดียว ดังนั้นในการ ผลิตจึงจำเป็นต้อง คัดเลือกน้ำยาง และควบคุมการผลิตเป็นอย่างดีเพื่อให้ได้ยางแผ่นในขั้นสุดท้ายของ กระบวนการผลิตที่มีสีจาง การพิจารณาเกี่ยวกับ พันธุ์ยางที่ให้สีน้ำยางต่างๆ กันจึงเป็นเรื่องจำเป็นและ สำคัญด้วย กรรมวิธีการผลิต จำเป็นต้องมีเงื่อนไขในอันที่จะผลิตยางแผ่นมีสีจาง กล่าวคือ เริ่มต้นจากการ ใช้สารเคมี ป้องกันน้ำยางจับตัวนิยมิใช้โซเดียมซัลไฟด์ในอัตรา 0.06% น้ำหนัก/น้ำหนักของเนื้อยาง แห้ง เติมในสถานะ ของสารละลายเจือจาง 3% น้ำหนัก/ปริมาตรลงในถ้วยรับน้ำยาง หรือถังรับน้ำยาง หรือที่ จุบรวมน้ำยาง การกรองน้ำยาง ใช้แรงขนาด 60 เมช แล้วเติม สารเคมีป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่ ก่อให้เกิดสีคล้ำกับยาง ซึ่งแนะนำให้ใช้ สาร โซเดียมเมตะไบซัลไฟด์ ในอัตรา 0.4% น้ำหนัก/น้ำหนักของ เนื้อยางแห้ง เติมใน สถานะของสารละลาย 5% น้ำหนัก/ปริมาตร จากนั้นจะทำให้น้ำยางเจือจางเป็น 12% เนื้อ ยางแห้ง ซึ่งระดับความเจือจางนี้จะมีส่วนช่วย ด้านความเป็นสีจางของแผ่นยางด้วย ทำให้น้ำ ยางที่เจือ จางแล้วจับตัวด้วยกรดฟอร์มิคเจือจาง 2%-5% น้ำหนัก/ปริมาตร ปริมาณ กรดที่เติม คือปริมาณกรดที่ทำ ให้น้ำยางมีระดับความเป็นกรด-ด่าง(pH)4.6-4.9ซึ่งวัด ด้วยกระดาษวัดpH เมื่อก้อนยางจับตัวแล้วให้เติม น้ำสะอาดหล่อท่วมผิวหน้าของก้อน ยาง ถ้าหากสังเกตพบว่าผิวหน้าของ ก้อนยางมีสีคล้ำแนะนำให้ใช้สารละลาย โซเดียมเมตะไบซัลไฟด์ในสถานะเจือจาง 0.3% น้ำหนัก/ปริมาตรหล่อท่วมผิวหน้า

ก้อนยาง นำก้อนยางไปผ่านการรีดด้วยเครื่องรีดแผ่น (เช่นเดียวกับเครื่องรีด ยางแผ่นรมควัน) ให้แผ่น ยางหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แฉวนแผ่นยางเพื่อให้สะเก็ดน้ำในที่รม ประมาณ 2-4 ชั่วโมง ขึ้น ต่อไปเป็นการอบให้แผ่นยางแห้งโดย อาศัยโรงอบที่อาจตัดแปลงจากโรง รมควัน หรือสร้างขึ้นใหม่ ซึ่งอาจใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ไม้ (จัดระบบไม่ให้ควันไฟผ่านสัมผัสแผ่นยางในโรงอบ) หรือเผา ใหม่น้ำมัน ระยะเวลาอบแห้งโดยปกติประมาณ 4 วันเมื่อความหนาของ แผ่นยางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร และอุณหภูมิโรงอบประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ขั้นสุดท้ายของแผ่นผึ่งแห้งจะถูกอัดเป็นก้อนขนาดประมาณ 0.1415 ลูกบาศก์เมตร น้ำหนักประมาณ 100-114 กิโลกรัม ป้องกันการ เหนียวติด โดยฉาบก้อนยางด้วยสารละลายแป้งทำนองเดียวกับยางแผ่นรมควัน

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าในกระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันและยางแผ่นผึ่งแห้งนั้น ขั้นตอนที่ใช้เวลาและสิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุดคือ กระบวนการที่ทำให้ยางแห้ง ดังนั้นถ้ามีการนำ เทคโนโลยีที่จะช่วยทำให้ยางแห้งเร็วขึ้น เช่น การอบยางด้วยไมโครเวฟ น่าจะเป็นกระบวนการหนึ่งที่มี โอกาสที่จะนำมาพัฒนา อันจะนำไปสู่การเพิ่มผลผลิต และประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิตโคนปกติโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ เป็นเส้นตรง จึงทำให้ อ่อนนิ่มไหลเยิ้มได้เมื่อ ได้รับความร้อนสูงๆ นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรงเชิงกลที่ต่ำ มีความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อ การสึกหรอต่ำ ดังนั้นในการนำยางไปใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์นั้น จะต้องมีการผ่านกระบวนการที่เรียกว่า กระบวนการวัลคาไนเซชัน (Vulcanization process) คือ กระบวนการที่ใช้ในการเพิ่มคุณภาพของยาง ธรรมชาติ (ยางดิบ) ให้มีความยืดหยุ่นได้ดีขึ้น มีความคงตัวสูง ไม่สึกกร่อนง่าย และไม่ละลายในตัวทำ ละลายอินทรีย์ สมบัติเหล่านี้จะยังคงอยู่ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงก็ตาม เนื่องจากในกระบวนการ นี้โครงสร้างโมเลกุลของยางจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากโซ่ตรงไปเป็นร่างแห โดยโมเลกุลของยางจะ ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงเรียกว่าสารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent) ส่วนใหญ่นิยม ใช้ กำมะถัน โดยจะทำปฏิกิริยากับยางเกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงเมื่อมีความร้อนเกิดขึ้น



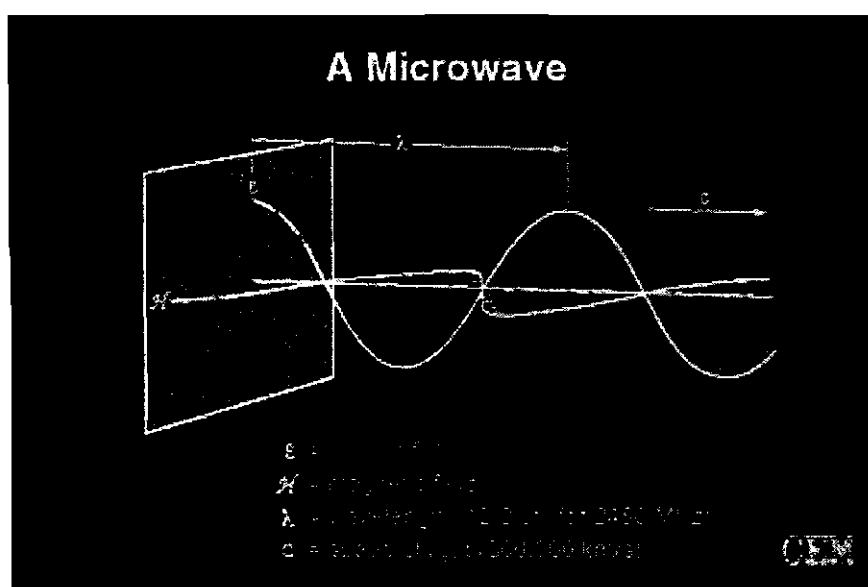
รูปที่ 2.2 (a) โครงสร้างโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงของยางธรรมชาติ (b) โครงสร้างโมเลกุลที่เป็นร่างแหของยางธรรมชาติ หลังผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน

ในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางนั้นประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอน การผสมยางกับสารเคมี (compounding) ในขั้นตอนนี้ยางจะถูกผสมกับสารเคมีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ และสารเคมีแต่งอื่นๆที่จะช่วยในการปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนต่อมาเป็นขั้นตอนที่ทำให้ยาง มีรูปร่างตามต้องการ (forming) สามารถทำได้ทั้งการฉีด (injection), การรีด (extrusion) และการอัดขึ้นรูป (compression) ขั้นตอนสุดท้ายคือการทำให้ยางคงรูป ซึ่งก็คือกระบวนการวัลคาไนเซชันนั่นเอง โดย กระบวนการนี้จำเป็นต้องมีการให้ความร้อนกับยาง เพื่อให้ทำให้เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน โดยยางจะคง รูปร่างเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลจะถูกเปลี่ยนจากสายโซ่ตรงกลายเป็นร่างแหเชื่อมโยงสามมิติ ดังที่ได้ กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้มีความแข็งแรงเชิงกลสูงขึ้น ไม่อ่อนโยนเมื่อได้รับความ ร้อน มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ ซึ่งขั้นตอนนี้เองเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ที่ใช้เวลาและพลังงานมากที่สุดในกระบวนการผลิต

2.2. คลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ (microwave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความถี่คลื่นอยู่ระหว่าง 300 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) – 300 จิกะเฮิร์ตซ์ และมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1 มิลลิเมตร-1 เมตร ความถี่คลื่นที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป คือ 915 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ [5,6] การให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟมีหลักการที่แตกต่างจากการให้ความร้อนโดยวิธีธรรมดาทั่วไป กล่าวคือ ความร้อนที่วัสดุที่ได้รับคลื่น

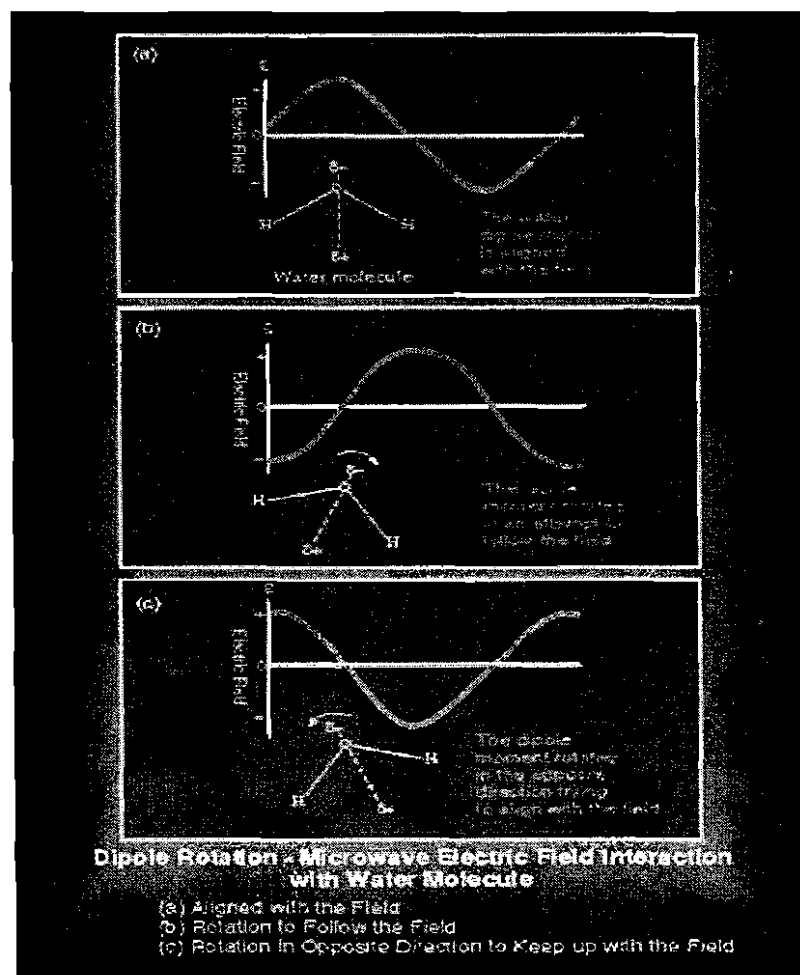
ไมโครเวฟนั้นจะเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นเองภายในชิ้นวัสดุ แทนที่จะเกิดจากการได้รับความร้อนที่ถ่ายเทมาจากแหล่งกำเนิดความร้อนจากภายนอก เช่น ลวดความร้อน (heat coil) แท่งความร้อน (heating element) เป็นต้น ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นโดยคลื่นไมโครเวฟนี้เป็นความร้อนแบบ ภายในที่เกิดทั่วถึงทั้งชิ้นวัสดุ (internal and volumetric heating) ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในชิ้นวัสดุและการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัสดุที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ มีลักษณะตรงข้ามกับวัสดุที่ได้รับความร้อนโดยวิธีอื่น กล่าวคือความร้อนภายในชิ้นวัสดุจะสูงกว่าที่ผิวภายนอก ดังนั้นความร้อนจะถ่ายเทจากภายในออกสู่ผิวภายนอก ในขณะที่วัสดุที่ได้รับความร้อนโดยวิธีทั่วไปจะมีอุณหภูมิที่ ผิวภายนอกสูงกว่าภายในและจะถ่ายเทความร้อนเข้าไปภายในชิ้นวัสดุนั้นๆ



รูปที่ 2.3 คลื่นไมโครเวฟ

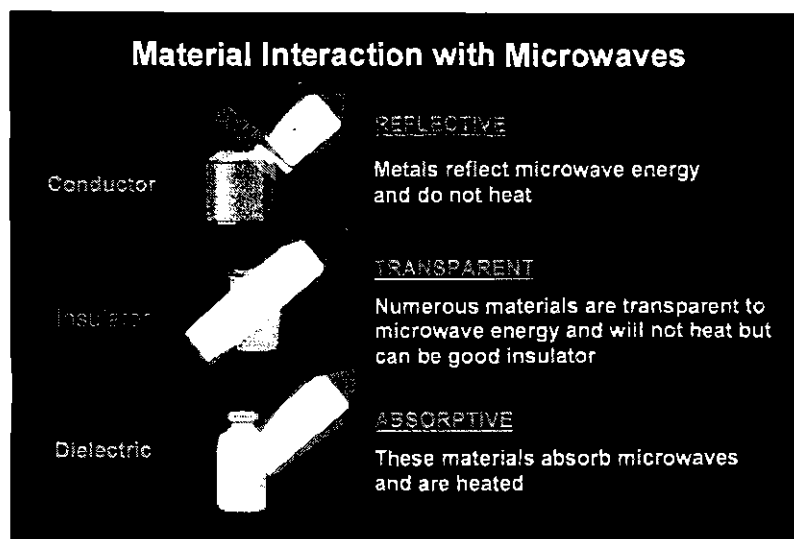
การที่วัสดุร้อนขึ้นภายใต้คลื่นไมโครเวฟนั้น เกิดขึ้นจากกลไก 2 ประการ อย่างใดอย่างหนึ่ง คือ กระบวนการโพลาไรเซชัน (polarization process) หรือเกิดจากการนำไฟฟ้าของวัสดุ (conduction process) กระบวนการโพลาไรเซชันนั้นจะเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวของประจุใหม่ การสั่นหรือการ หมุนตัวของไดโพลภายใต้สนามไฟฟ้าหรือแม่เหล็ก ซึ่งถือเป็นการเคลื่อนที่ของประจุในระยะสั้น (short-range displacement) ซึ่งโมเลกุลของวัสดุที่ไม่เป็นกลางทางไฟฟ้า เช่น น้ำ จะมีการหมุนกลับตัวไปตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ (2,450 เมกะเฮิร์ตซ์) เป็นจำนวน 2,450 ล้านรอบต่อวินาที ในหนึ่ง

รอบคลื่นจะประกอบไปด้วยคลื่นช่วงบวกและคลื่นช่วงลบ ดังนั้น โมเลกุลของวัสดุจะหัน
 ขั้วบวกไปทางขั้วลบ ของสนามไฟฟ้าอีก 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที และจะหันขั้วขั้วลบ
 ของโมเลกุลไปทางขั้วบวกของสนามไฟฟ้าอีก 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที รวมแล้วโมเลกุล
 ต้องกลับตัวถึง 4,900 ล้านครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดการชนกันและการเสียดสีของโมเลกุล
 เกิดเป็นพลังงานความร้อนทำให้ อุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้นในที่สุด ในกรณีของความร้อน
 ที่เกิดขึ้นภายใต้กระบวนการการนำไฟฟ้า ของวัสดุนั้น เกิดจากการที่คลื่น ไมโครเวฟ
 ผ่านเข้ามาในวัสดุ คลื่นจะถูกดูดกลืนและจะไปเหนี่ยวนำ ให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นภายใน
 และ สนามไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุต่างๆ แรงต้านทาน การเคลื่อนที่
 ซึ่งรวมไปถึงแรงเฉื่อย แรงยึดหยุ่น และแรงเสียดทานจากการชนกันของประจุต่างๆ
 ทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุ ในที่สุด ซึ่งจะเป็นความร้อนที่
 เกิดขึ้นทั่วทั้งชิ้นวัสดุ (volumetric heating) ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น



รูปที่ 2.4 กระบวนการโพลาไรเซชัน

ลักษณะการตอบสนองต่อคลื่นไมโครเวฟของวัสดุชนิดต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับชนิด และสมบัติทางไดอิเล็กทริกของวัสดุนั้นๆ วัสดุที่มีความเป็นฉนวนไฟฟ้า มีค่าการนำไฟฟ้า ที่ต่ำ จะยอมให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่าน ตัวอย่างเช่น แก้วทนความร้อน กระเบื้องเคลือบ พลาสติกบางประเภท เช่น โพลีโพรพิลีน ดังนั้นวัสดุเหล่านี้จะไม่สามารถถูกทำให้ร้อนขึ้น ได้โดยคลื่นไมโครเวฟ วัสดุที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง เช่น โลหะ จะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟ ทำให้คลื่นไม่สามารถทะลุผ่านได้ ดังนั้นผนังของเตาไมโครเวฟจึงมักทำมาจากวัสดุที่เป็น โลหะ เพื่อป้องกันการรั่วของคลื่น และช่วยในการกระจายตัวของคลื่นภายในเตาโดยอาศัย การสะท้อน สำหรับวัสดุบางประเภทเช่น น้ำ คาร์บอน ซิลิกอนคาร์ไบด์ พลาสติกบาง ประเภท เช่น โพลีเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว อีพอกซีเรซิน วัสดุเหล่านี้จะมีความเป็น ฉนวนที่ต่ำ จะสามารถดูดคลื่นคลื่นไมโครเวฟ ทำให้กำลังงานของคลื่นลดลงไป และกำลัง งานที่ถูกดูดกลืนไว้จะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนทำให้วัสดุร้อนขึ้น ตามกระบวนการที่ได้ กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 2.5 การตอบสนองต่อคลื่นไมโครเวฟของวัสดุชนิดต่างๆ

สำหรับยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีการนำไฟฟ้าที่ต่ำ โมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นกลางทางไฟฟ้า ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงไม่ดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ แต่ยอมให้คลื่นทะลุผ่านไป แต่ในกรณีของยางแผ่นดิบที่เพิ่งผ่านการจับตัวกันเป็นก้อนนั้น จะมีความชื้นอยู่ภายในเนื้อยางดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โมเลกุลของน้ำภายในเนื้อยางนี้เองจะเป็นตัวที่ดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเอาไว้ ทำให้เกิดการสั่น การกลับตัวไปมาของโมเลกุลอย่างรวดเร็ว การชนและการเสียดสีกันของโมเลกุล อันจะนำไปสู่การเกิดความร้อนขึ้นเมื่อได้รับคลื่น

ไมโครเวฟตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะนำไปสู่การระเหยออกของน้ำภายในเนื้อยาง จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงมีความเป็นไปได้ในการนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้เพื่อการอบแห้งยาง ในกรณีของการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการวัลคาไนเซชันนั้น ไมโครเวฟจะสามารถทำให้โมเลกุลของยางที่มีขั้ว (polar rubber molecule) เช่น ยางไนไตร์ (nitrile rubber) ซึ่งไม่เป็นกลางทางไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้โดยกระบวนการโพลาริเซชัน เช่นเดียวกับโมเลกุลของน้ำ ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันภายในโมเลกุลของยางได้ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในยางโดยไมโครเวฟนี้เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นพร้อมกันทั่วทั้งชิ้นตามที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น ดังนั้นปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั่วทั้งชิ้นงาน ซึ่งต่างจากกรรมวิธีการให้ความร้อนปกติ ที่ความร้อนจะถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่ภายในชิ้นงาน ในกรณีที่ชิ้นงานมีความหนาแน่นมาก อาจเกิดปัญหาที่เกิดการวัลคาไนเซชันที่ไม่เท่ากันระหว่างภายในและบริเวณผิวของชิ้นงานได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่ไม่สม่ำเสมอภายในชิ้นงาน ดังนั้นการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในการวัลคาไนเซชันยางนั้น จะมีส่วนช่วยให้ยางเกิดการวัลคาไนเซชันขึ้นอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอทั้งชิ้นงาน ในกรณีของยางธรรมชาตินั้น โดยปกติในการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยาง มักจะมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เช่น เขม่าดำ (carbon black) หรือ ซิลิกา (silica) ซึ่งสารเติมแต่งเหล่านี้จะมีความเป็นฉนวนที่ต่ำ จึงสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ ซึ่งถ้าสารเหล่านี้กระจายตัวอยู่ในเนื้อยาง ก็จะช่วยดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ และทำให้ยางมีอุณหภูมิสูงขึ้นและนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันได้ในที่สุด

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟกับวัสดุโพลีเมอร์ ยังมีการทำการศึกษากันอย่างไม่แพร่หลายนัก ส่วนใหญ่การใช้คลื่นไมโครเวฟในกระบวนการผลิตวัสดุจำพวกโพลีเมอร์มักจะทำการศึกษากับวัสดุที่เป็นเทอร์โมเซตเรซิน (Thermoset Resin) เช่น อีพอกซีเรซิน ส่วนการศึกษาถึงพฤติกรรมของการตอบสนองของวัสดุที่เป็นยางหรืออีลาสโตเมอร์ (Elastomer) ต่อคลื่นไมโครเวฟนั้น ยังมีการทำการศึกษาในวงที่จำกัดมาก

S.L. Bai และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของอีพอกซีเรซินที่ถูกบ่มเร่งให้แข็งตัวด้วยคลื่นไมโครเวฟและความร้อนในระบบปกติ พบว่าอีพอกซีเรซินที่ถูกบ่มเร่งให้แข็งตัวด้วยคลื่นไมโครเวฟจะมีความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) โมดูลัส (Modulus) ที่สูงกว่าอีพอกซีเรซินที่ถูกบ่มเร่งให้แข็งตัวด้วยการให้ความร้อนในระบบปกติ เนื่องจากมีความสม่ำเสมอของโครงสร้างและปริมาณการเกิดพันธะเชื่อมขวางที่ดีกว่า

F.Y.C. Boey [8] ทำการศึกษาถึงการใช้คลื่นไมโครเวฟในการบ่มเรซินให้แข็งตัว ในวัสดุผสม(Composite)ระหว่างอีพอกซีเรซินและใยแก้ว พบว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟในกระบวนการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงในการยึดเกาะกันระหว่างผิวของใยแก้วกับเนื้อเรซิน เนื่องจากฟองอากาศระหว่างผิวสัมผัสนั้นถูกทำให้ลดลง จึงทำให้มีความแข็งแรงเชิงกลมากยิ่งขึ้น

Chia L.H.L และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาการใช้คลื่นไมโครเวฟในกระบวนการโพลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ของ เมทิลเมทาไครเรต (Methyl-methacrylate) ไปเป็นโพลิเมทิลเมทาไครเรต (Poly (methyl-methacrylate)) พบว่าโพลิเมทิลเมทาไครเรตที่สังเคราะห์ได้นั้นมีสมบัติที่เหมือนกับที่ได้จากการโพลิเมอไรเซชันด้วยความร้อนปกติ แต่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วกว่า

D. Martin และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาการวัลคาไนซ์ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางบิวตะไดอิน (Butadiene Rubber) ที่มีเขม่าดำเป็นสารเสริมแรง โดยใช้ลำแสงอิเล็กตรอน (electron beam) และคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลำแสงอิเล็กตรอน พบว่าถ้ามีการใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมในการวัลคาไนเซชันด้วยนั้น จะทำให้ลดเวลาในการเกิดการวัลคาไนเซชันลงเป็นอย่างมาก

Jian Zhou และคณะ [11] ทำการศึกษาการใช้คลื่นไมโครเวฟในกระบวนการผลิตโพลิเมอร์ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟในการบ่มเรซินให้แข็งตัว โดยมีการใช้มาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) ตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดพันธะเชื่อมขวาง (curing agent) พบว่าการบ่มเรซินให้แข็งตัวด้วยคลื่นไมโครเวฟจะช่วยในการลดเวลาในการทำให้เรซินแข็งตัว และใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดพันธะเชื่อมขวางลดลงเมื่อเทียบกับการบ่มเรซินให้แข็งตัวด้วยความร้อนปกติ นอกจากนี้เรซินที่ได้จากการบ่มด้วยคลื่นไมโครเวฟยังให้สมบัติเชิงกลที่สูงกว่าเรซินที่ได้จากการบ่มด้วยความร้อนปกติ

บทที่ 3

การดำเนินการทดลอง

3.1 การจัดหาวัสดุในการทำแม่พิมพ์

3.1.1 จัดสร้างแม่พิมพ์จากวัสดุดังต่อไปนี้

- เซรามิกส์
- ปูนซีเมนต์
- ไม้
- เทฟลอน

3.1.2 นำแม่พิมพ์จากข้อ 3.1.1 ไปให้ความร้อนในเตาไมโครเวฟ ที่กำลัง 800 วัตต์ เป็นเวลา 7 นาที

3.1.3 วัดอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ได้รับความร้อนจากเตาไมโครเวฟ

3.2 การออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟ

3.2.1 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเตาไมโครเวฟ

3.2.2 เขียนโปรแกรมวัดอุณหภูมิของวัสดุภายในเตาไมโครเวฟ

3.2.3 ออกแบบเตาไมโครเวฟ

3.2.6 ประกอบตัวถังของเตาไมโครเวฟ

3.2.7 ต่อวงจรควบคุมการทำงานของเตาไมโครเวฟ

3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของเตาไมโครเวฟ

3.3.1 ทดสอบการระเหยน้ำออกจากน้ำยาง

- นำน้ำยางธรรมชาติชนิด High Ammonia Latex มาทำการชั่งน้ำหนักทั้งก้อนและ
หลังการอบที่เตาไมโครเวฟ กำลัง 80 วัตต์ เป็นเวลา 20 30 60 90 และ 120 วินาที ตามลำดับ
ทำการคำนวณหาอัตราเร็วของการระเหยออกของน้ำ

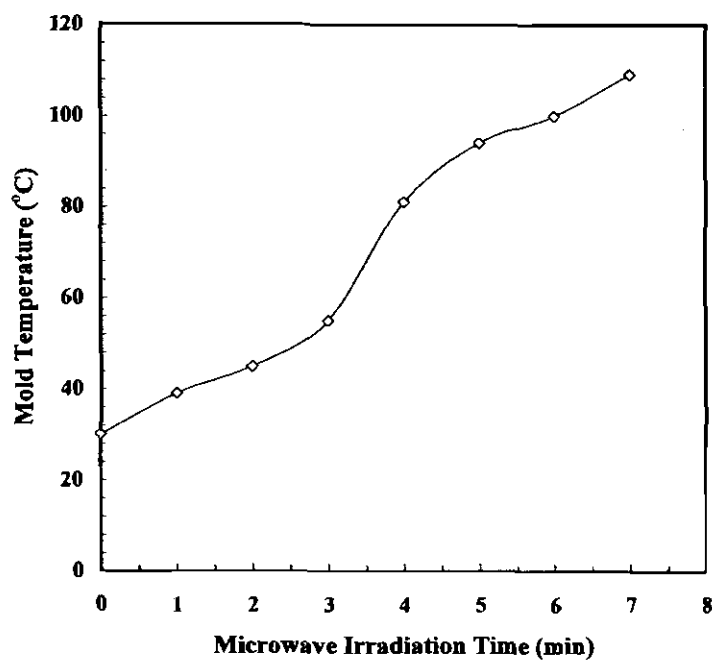
บทที่ 4

ผลการทดลอง

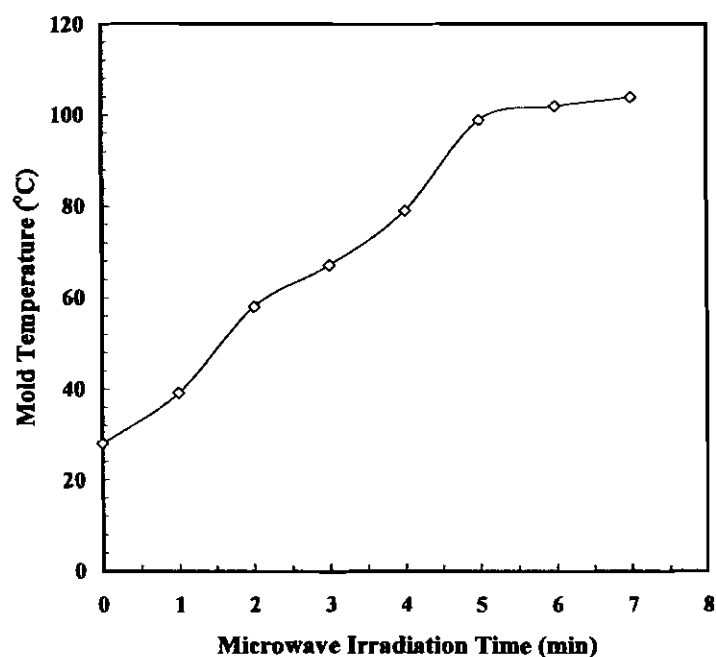
4.1.1 การจัดหาวัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์

จากการจัดสร้างแม่พิมพ์จากวัสดุชนิดต่าง และนำไปให้ความร้อนโดยเตาไมโครเวฟ กำลัง 800 วัตต์เป็นเวลา 7 นาที พบว่าวัสดุแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อคลื่นไมโครเวฟที่แตกต่างกันดังนี้

- เซรามิกส์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ ดังรูปที่ 4.1
- ซีเมนต์มีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ ดังรูปที่ 4.2
- ไม้ เกิดการลุกไหม้เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟเพียง 30 วินาที
- เทฟลอน ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิของแม่พิมพ์เซรามิกส์ เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของแม่พิมพ์ซีเมนต์ เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ

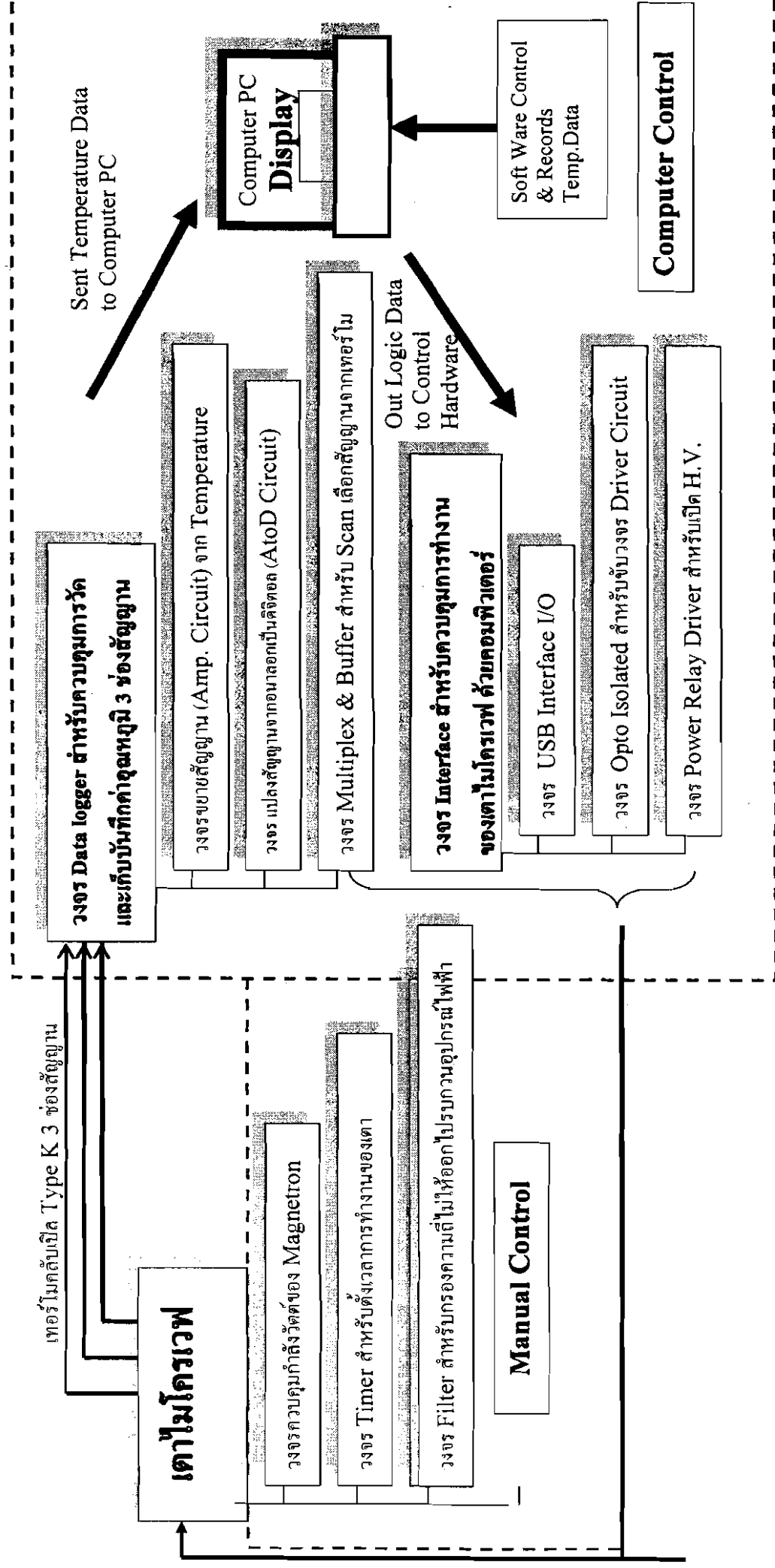
จากผลการทดลองสรุปได้ว่าวัสดุที่เหมาะสมในการใช้ทำแม่พิมพ์เพื่อใช้ในเตาไมโครเวฟ คือ เทฟลอน เนื่องจากไม่มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ จึงแสดงถึงว่าคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านเทฟลอนเข้าไปสู่วัสดุที่บรรจุภายในแม่พิมพ์ดังกล่าวได้

4.2 การออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟ

4.2.1 โปรแกรมวัดอุณหภูมิและควบคุมการทำงานของเตาไมโครเวฟ

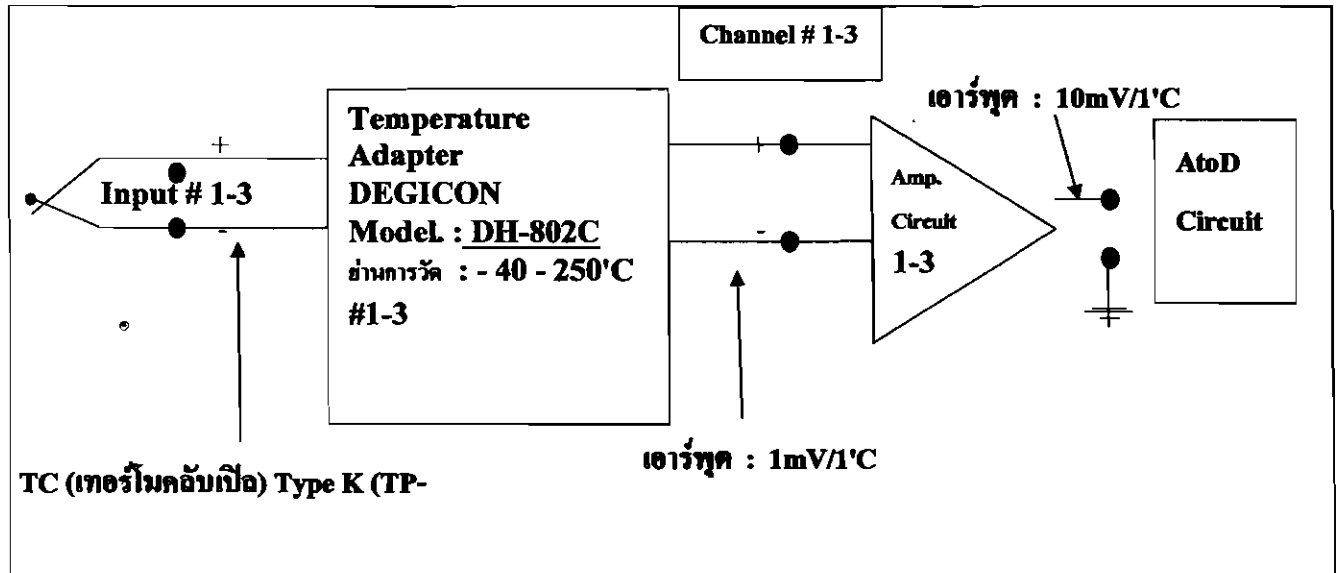
ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Visual Basic Ver.6 ในการควบคุมการทำงานของเตาไมโครเวฟ เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่มีเสถียรภาพในการทำงานที่ดี ง่ายในการใช้งาน และมีความสามารถสูงในการที่จะแสดงภาพหน้าจอควบคุมการทำงานเป็นภาพกราฟฟิกที่สวยงาม

Block Diagram แสดงการออกแบบเตาไมโครเวฟสำหรับงานวิจัยนี้

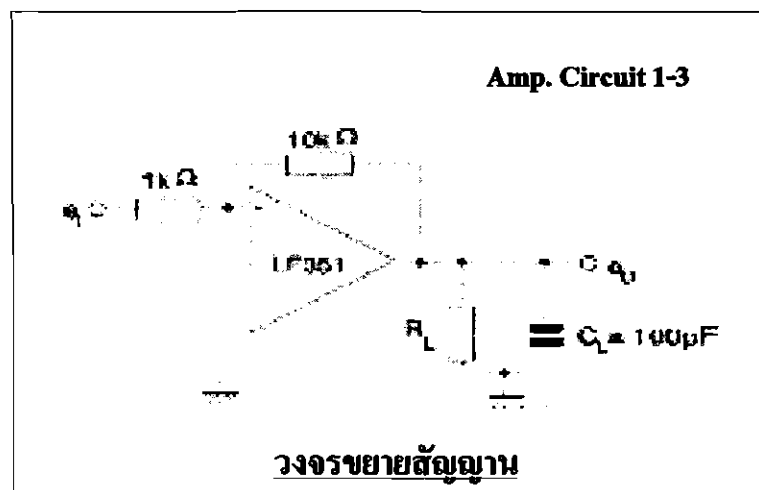


วงจร Data logger สำหรับควบคุมการวัดและเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิ 3 ช่องสัญญาณ

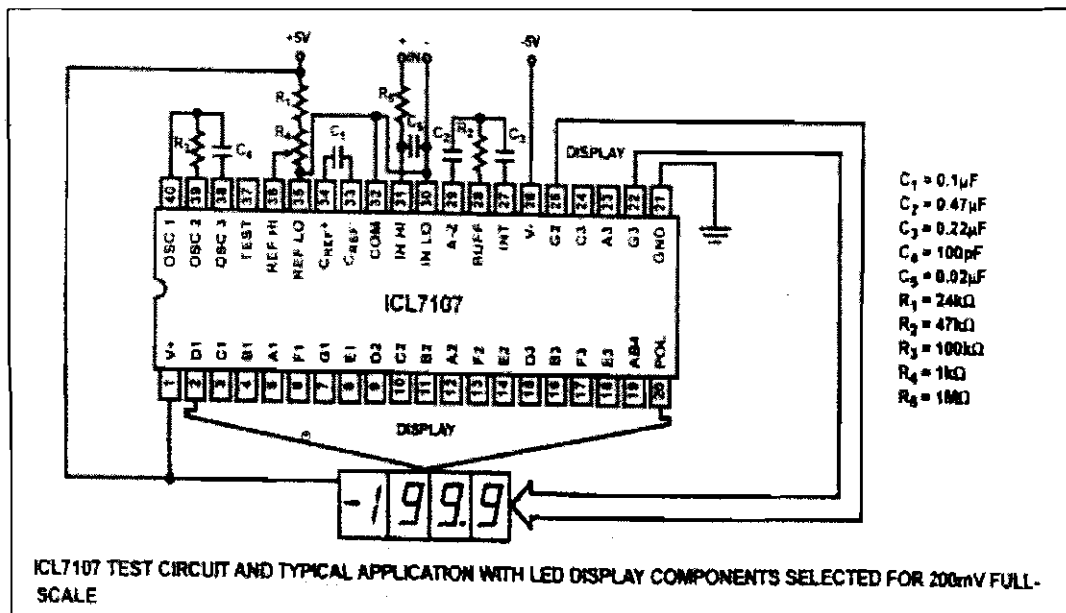
วงจรขยายสัญญาณ (Amp. Circuit) จาก Temperature Adaptor 3 ชุดวงจร



ต้องใช้วงจรทั้งหมด 3 ชุดแยกอิสระต่อกัน

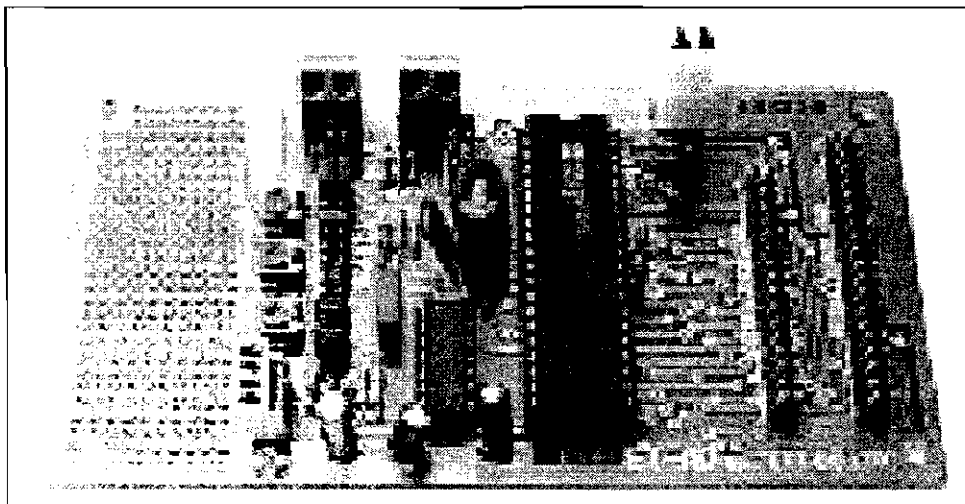


วงจร แปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล (AtoD Circuit)



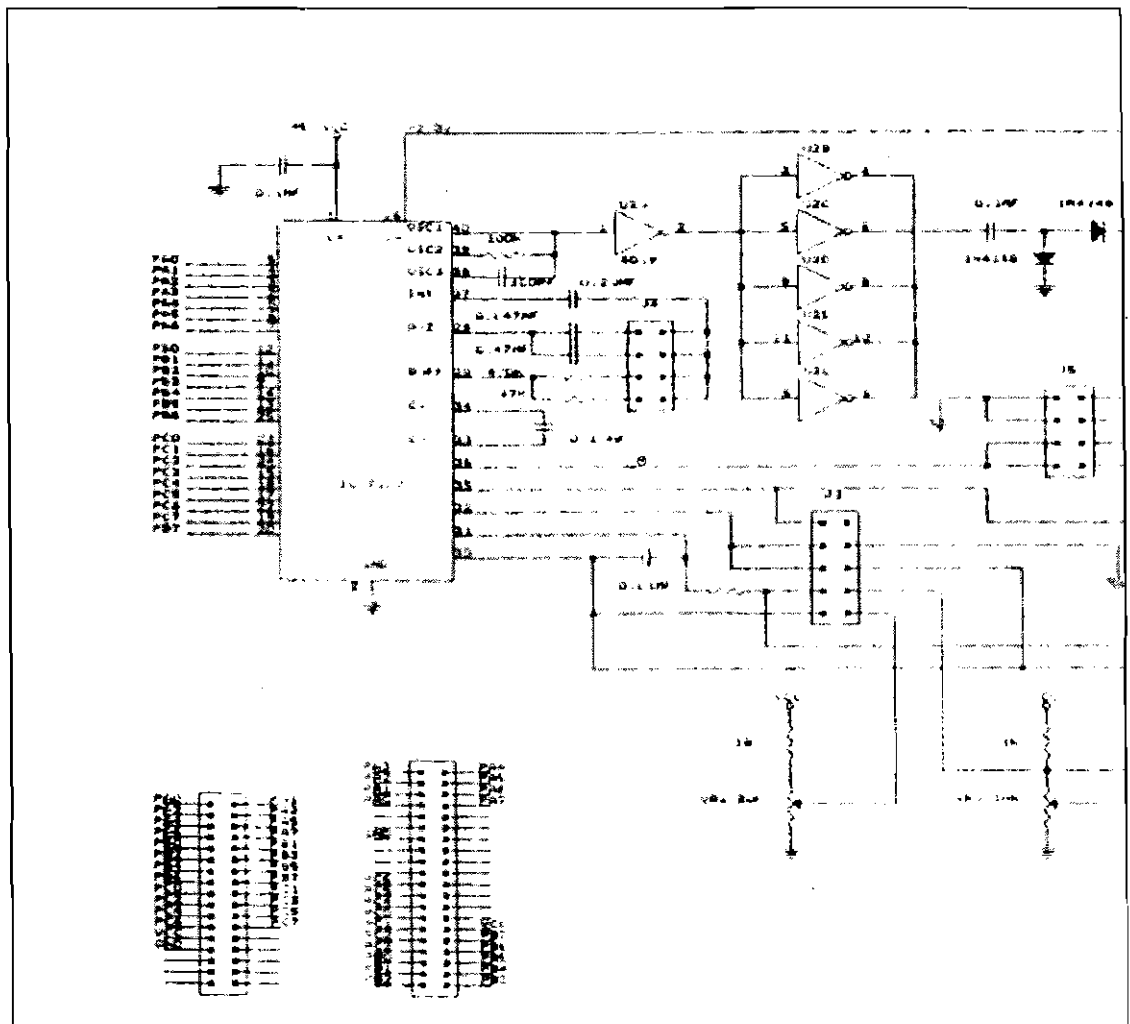
วงจร แปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอลพื้นฐาน ที่ใช้ในการออกแบบเพื่อวัดค่าอุณหภูมิ

ใช้ IC เบอร์ 7107 เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณ A TO D ซึ่งเป็น IC ที่ใช้ใน METER แบบ DIGITAL ขนาด 3 1/2 หลัก หรือประมาณ 10 BIT อัตราการเปลี่ยนสัญญาณ 3 ครั้งต่อวินาที

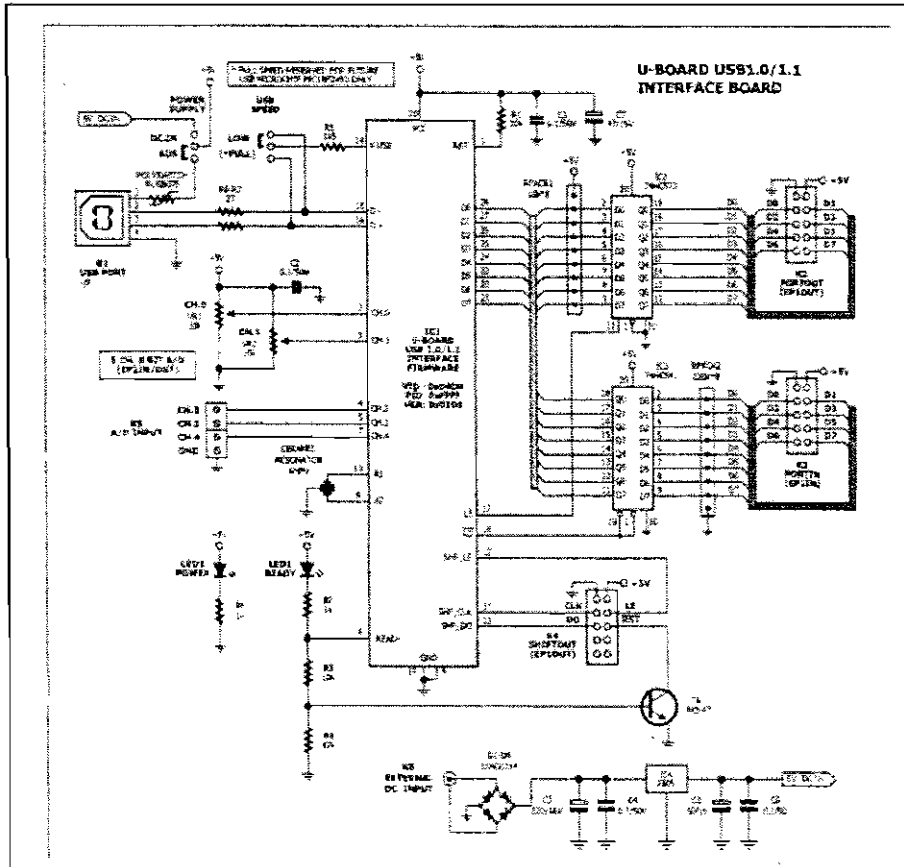


บอร์ดวงจร แปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอลสำเร็จรูป

วงจรรวม และ Multiplex & Buffer สำหรับ Scan เลือกสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล

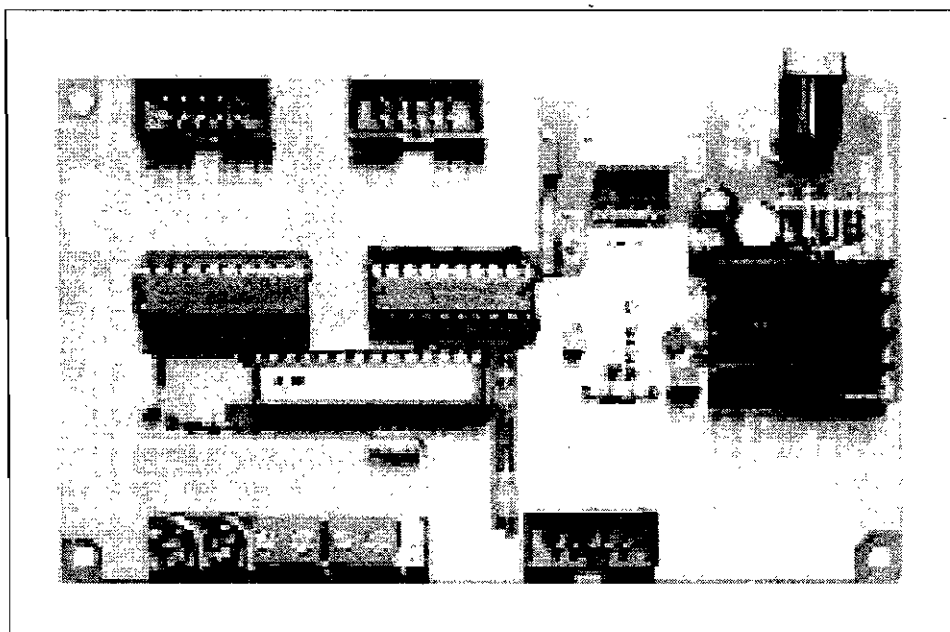


วงจร Interface สำหรับควบคุมการทำงานของเตาไมโครเวฟ ด้วยคอมพิวเตอร์

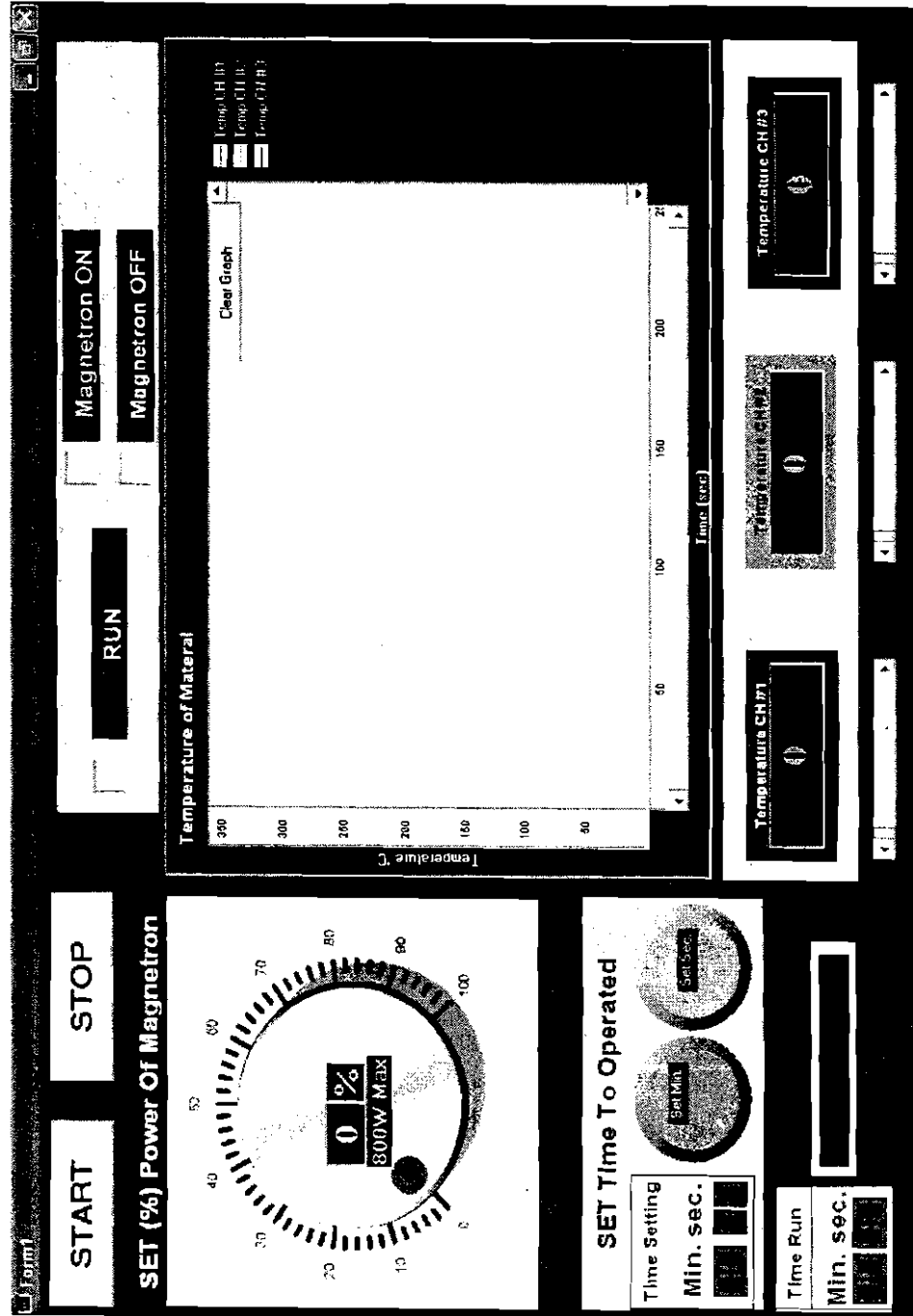


วงจร USB Interface I/O Port รองรับ USB 1.0/1.1

ทำหน้าที่เป็นวงจรจัดสรรสัญญาณ Digital เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ภายนอก



โปรแกรมควบคุมการทำงานของเตาไมโครเวฟในอุตสาหกรรมยาง และระบบวัดอุณหภูมิ(3 Ch Temperature Datalogger)



Code โปรแกรมควบคุมการทำงานของเตาไมโครเวฟในอุตสาหกรรมยาง และระบบวัดอุณหภูมิ (3 Ch Temperature Datalogger) พัฒนาโดย Visual Basic

```
Public z As Double
Dim n1 As Currency
Dim n2 As Currency
Dim n3 As Currency

Private Sub Command1_Click()
Timer1.Enabled = True
ForgeLEDb2.LEDstate = 1
ForgeLEdc1.LEDstate = 0
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Timer1.Enabled = False
ForgeLEDb2.LEDstate = 0
ForgeLEdc1.LEDstate = 1
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Call TigerChart1.ClearAllPlotData

End Sub

Private Sub Form_Load()
Timer1.Enabled = False
'ForgeLEdc1.LEDstate = 1
'TigerChart1.Title = "Test"
'TigerChart1.XAxisLabel = "Time"
'TigerChart1.YAxisLabel = "Data"
TigerChart1.MaxCountOfPlots = 3
'Call TigerChart1.SetPlotAspects(1, "Data 1", , , , 2, , , True)
'Call TigerChart1.SetPlotAspects(2, "Data 2", , , , 2, , , True)
'Call TigerChart1.SetPlotAspects(3, "Data 3", , , , 2, , , True)
Call TigerChart1.SetGlobalBorders(0.1, 250, 0.1, 360, 0, 0)
Call TigerChart1.ClearAllPlotData
Call TigerChart1.Refresh
```

```

HScroll1.Min = 1
HScroll1.Max = 2500
HScroll2.Min = 1
HScroll2.Max = 2500
HScroll3.Min = 1
HScroll3.Max = 2500
'Command1.Caption = "Start plot"
z = Timer

'Line1.X2 = (HScroll1.Value / 10)
'Line1.Y2 = (HScroll1.Value / 10)

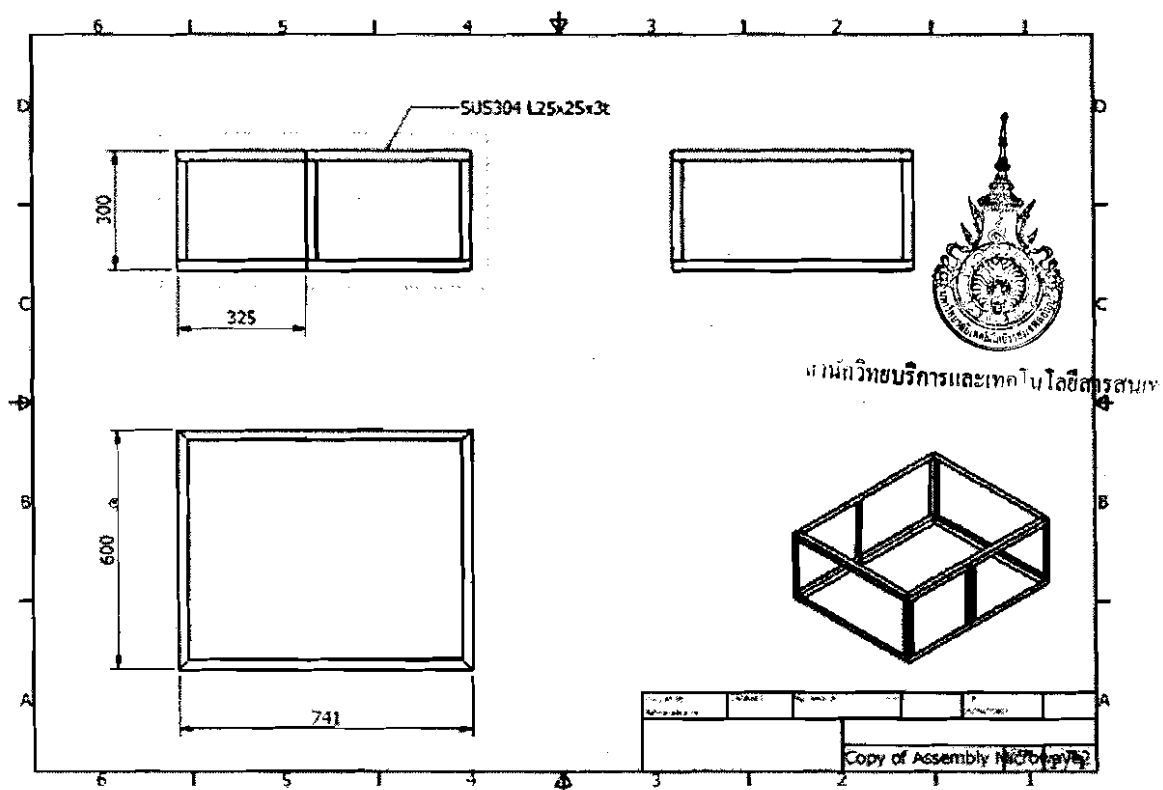
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
t = Timer - z
n1 = HScroll1.Value / 10
n2 = HScroll2.Value / 10
n3 = HScroll3.Value / 10
Call TigerChart1.AddNewDataPoint(1, t, n1)
Call TigerChart1.AddNewDataPoint(2, t, n2)
Call TigerChart1.AddNewDataPoint(3, t, n3)
Call TigerChart1.Refresh

End Sub

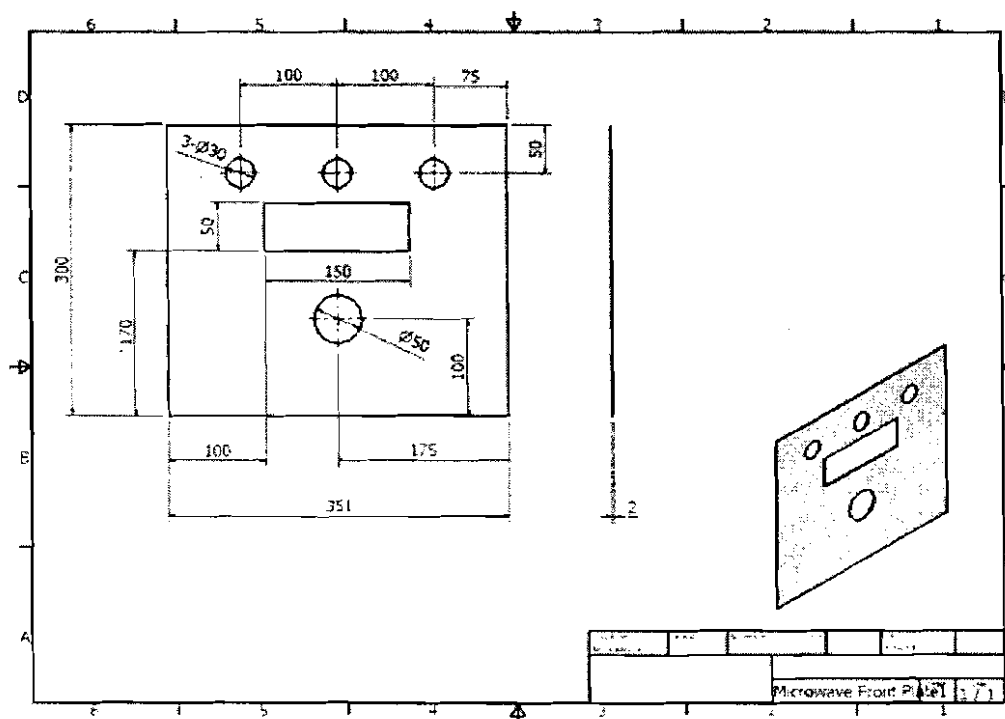
Private Sub Timer2_Timer()
Text1.Text = SwaKnob1.Value
'Text2.Text = SwaKnob2.Value
Shape3.Width = SwaKnob1.Value * 25
Text5.Text = n1
Text6.Text = n2
Text7.Text = n3
End Sub

```

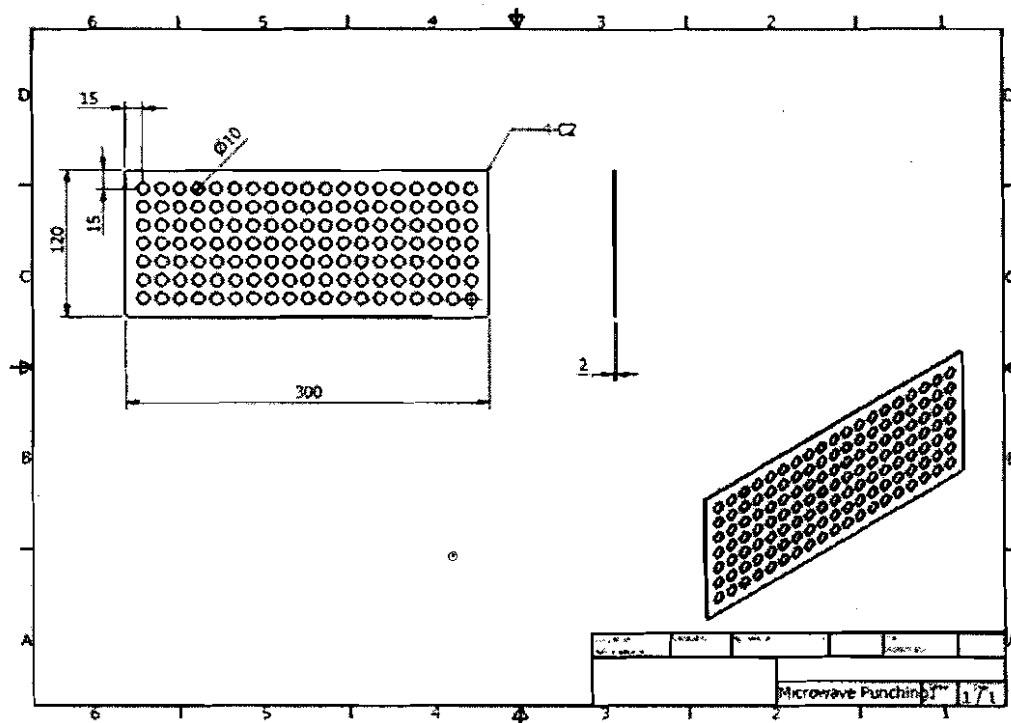
4.2.2 การออกแบบโครงสร้างเตาไมโครเวฟ



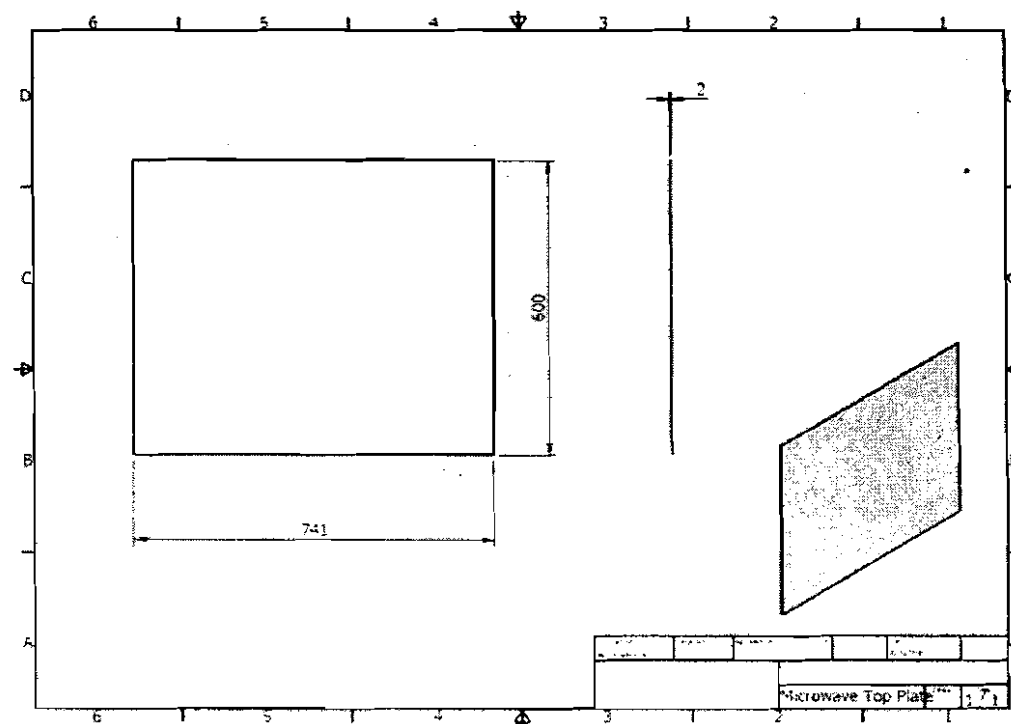
แบบโครงสร้างของเตาไมโครเวฟ



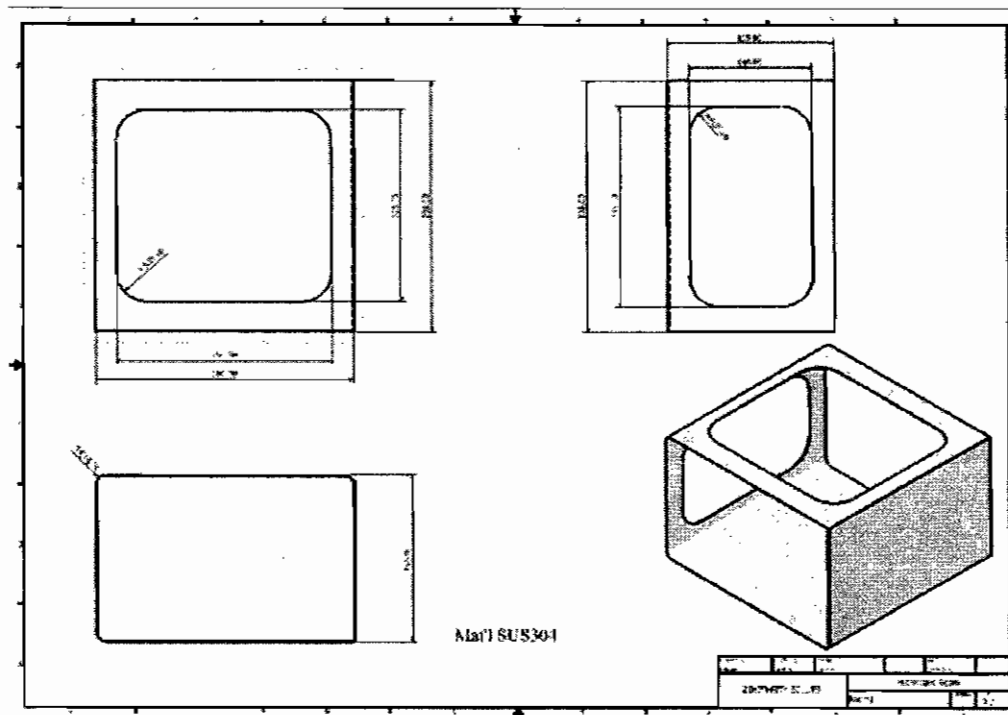
แผ่นโครงด้านหน้าเตาไมโครเวฟ



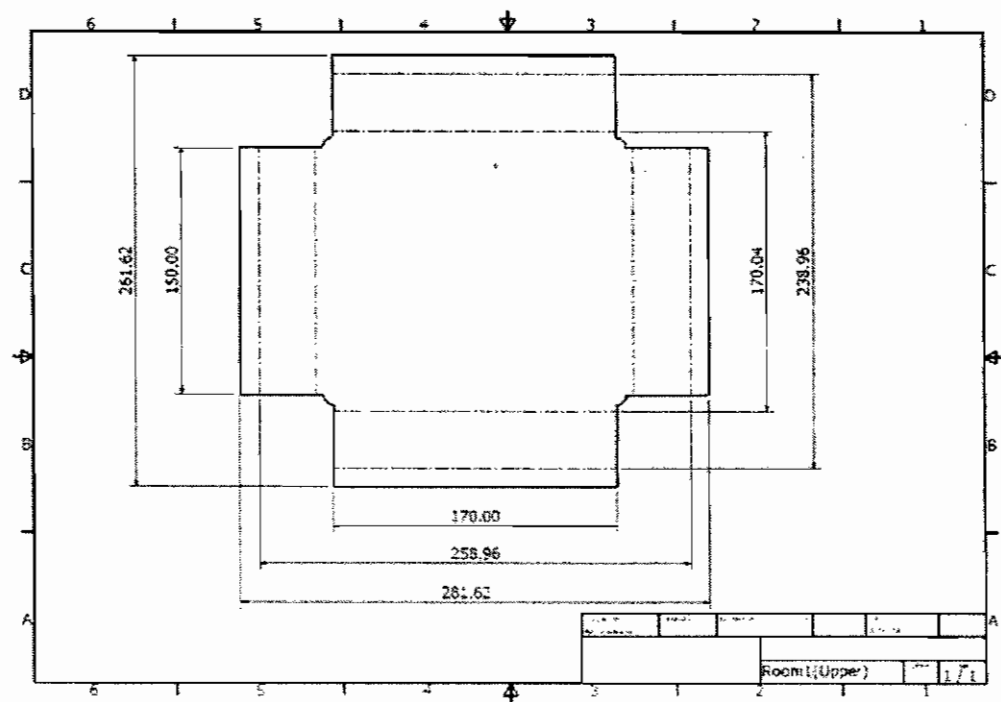
Microwave Punching



Microwave Top Plate



Wave Guide

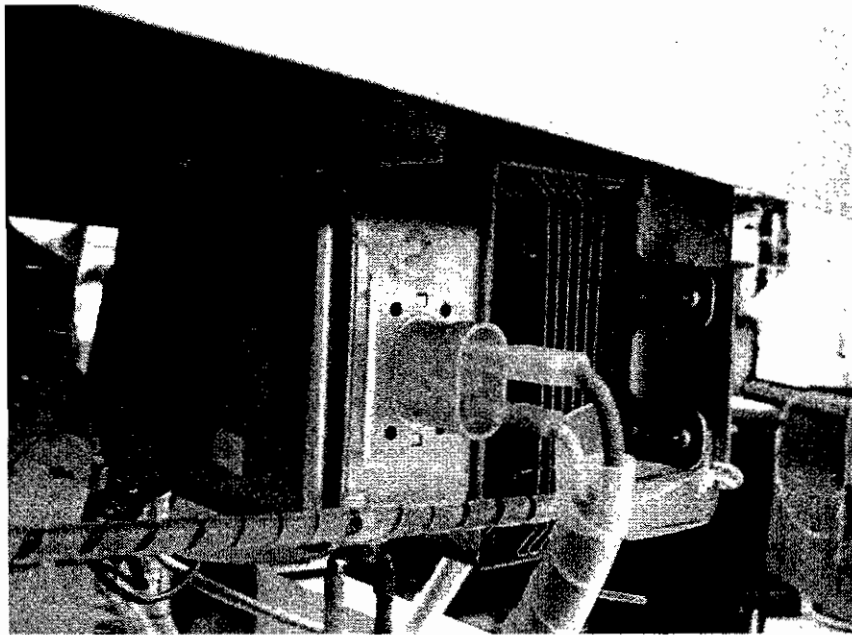


แบบแผ่นประกอบ Microwave Cavity

4.2.3 องค์ประกอบของวงจรกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

1. หลอดแมกนีตรอน

เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ ในงานวิจัยนี้ ใช้แมกนีตรอนที่ให้กำเนิดคลื่นไมโครเวฟที่กำลังสูงสุด 800 วัตต์ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 หลอดแมกนีตรอน

2. High Voltage Circuit

จะทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้า จาก 200 volt ให้สูงขึ้นประกอบไปด้วย

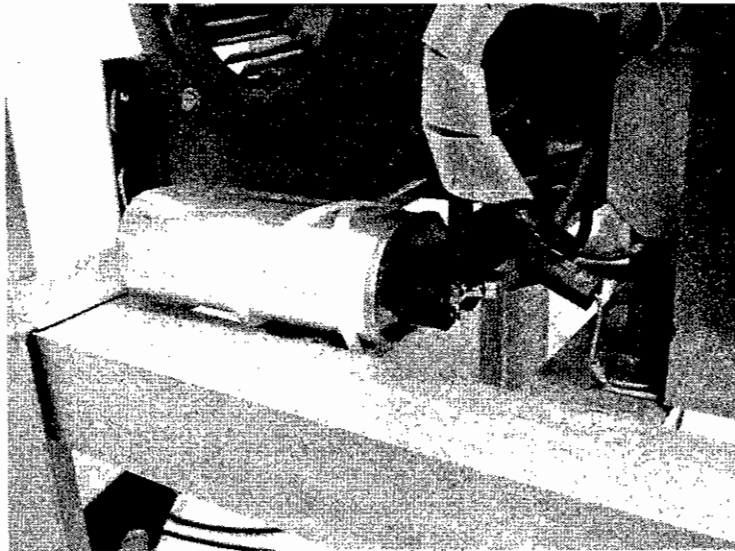
- High Voltage Transformer

ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟจาก 200 volt เป็น 2,000 volt

- High Voltage Rectifier

ซึ่งประกอบไปด้วย High Voltage Capacitor และ Diodes ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟจาก 2,000 volt เป็น 4,000 volt



รูปที่ 4.5 High Voltage Capacitor



รูปที่ 4.6 Diodes

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเตาไมโครเวฟ

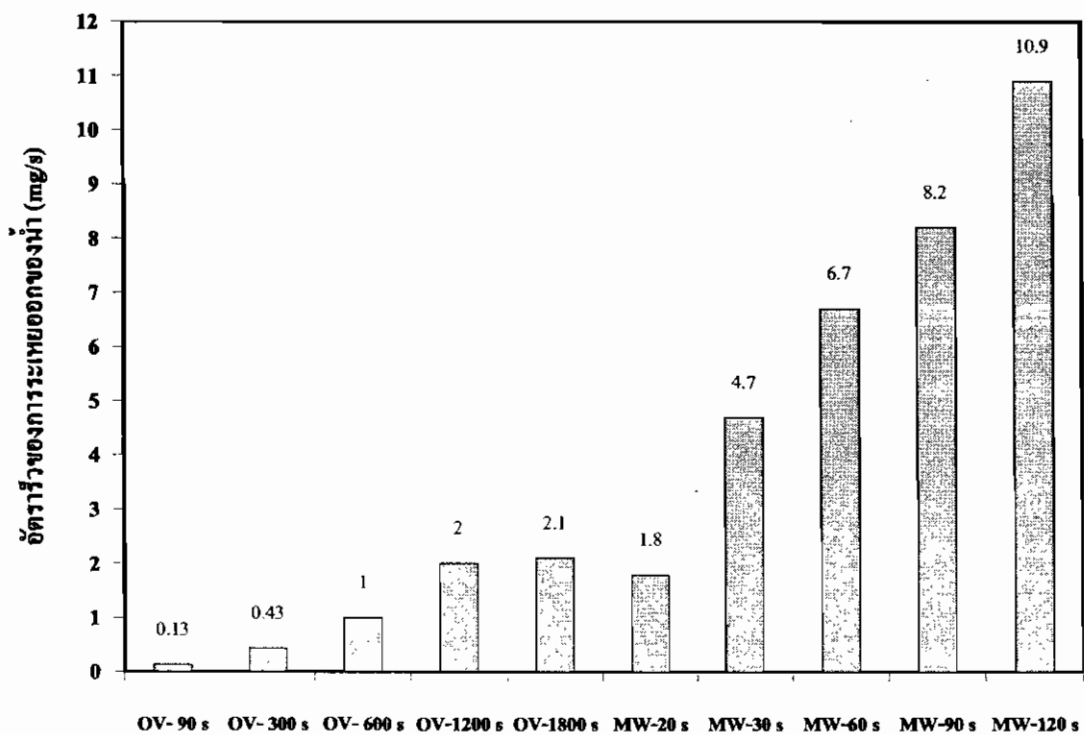
4.3.1 การระเหยน้ำออกจากน้ำยาง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอัตราเร็วของการระเหยออกของน้ำจากน้ำยางภายหลังการพรีวัลคาไนซ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟและอุณหภูมิ 60 °C ที่เวลาต่างๆ

การพรีวัลคาไนซ์น้ำยาง ธรรมชาติ	เวลาที่ใช้ในการพรีวัลคาไนซ์ (s)	อัตราเร็วของการระเหยออก ของน้ำ (mg/s)
อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60 °C	90	0.13
	300	0.43
	600	1.0
	1200	2.0
	1800	2.1
คลื่นไมโครเวฟกำลัง 80 วัตต์	20	1.8
	30	4.7
	60	6.7
	90	8.2
	120	10.9

การที่น้ำยางได้รับคลื่นไมโครเวฟแล้วถูกทำให้ร้อนขึ้นได้นั้น เกิดจากโมเลกุลของน้ำภายในน้ำยางชั้นนี้เองจะเป็นตัวที่ดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเอาไว้ การที่โมเลกุลของน้ำถูกทำให้ร้อนขึ้นภายใต้คลื่นไมโครเวฟนั้น เกิดขึ้นจากกลไก 2 ประการ อย่างใดอย่างหนึ่ง คือกระบวนการโพลาไรเซชัน (polarization process) หรือเกิดจากการนำไฟฟ้าของวัสดุ (conduction process) กระบวนการโพลาไรเซชันนั้นจะเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวของประจุใหม่ การสั่นหรือการหมุนตัวของไดโพล ภายใต้สนามไฟฟ้าหรือแม่เหล็ก ซึ่งถือเป็นการเคลื่อนที่ของประจุในระยะสั้น (short-range displacement) ซึ่งโมเลกุลของวัสดุที่ไม่เป็นกลางทางไฟฟ้า เช่น น้ำ จะมีการหมุนกลับตัวไปตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ (2,450 เมกะเฮิร์ตซ์) เป็นจำนวน 2,450 ล้านรอบต่อวินาที ในหนึ่งรอบคลื่นจะประกอบไปด้วยคลื่นช่วงบวกและคลื่นช่วงลบ ดังนั้นโมเลกุลของน้ำจะหันขั้วบวกไปทางขั้วลบของสนามไฟฟ้าอีก 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที และจะหันขั้วขั้วลบของโมเลกุลไปทางขั้วบวกของสนามไฟฟ้าอีก 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที รวมแล้วโมเลกุลต้องกลับตัวถึง 4,900 ล้านครั้งต่อ

วินาที ทำให้เกิดการชนกันและการเสียดสีของโมเลกุล เกิดเป็นพลังงานความร้อนทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นในที่สุด ในกรณีของความร้อนที่เกิดขึ้นภายใต้กระบวนการนำไฟฟ้าของวัสดุ นั้น เกิดจากการที่คลื่นไมโครเวฟผ่านเข้ามาในวัสดุ คลื่นจะถูกดูดกลืนและจะไปเหนี่ยวนำ ให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นภายใน และสนามไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุต่างๆ แรงต้านทาน การเคลื่อนที่ซึ่งรวมไปถึงแรงเฉือน แรงยืดหยุ่น และแรงเสียดทานจากการชนกันของประจุต่างๆ ทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นภายในวัสดุในที่สุด ซึ่งจะเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นทั่วทั้งชิ้นวัสดุ(volumetric heating) เนื่องจากกลไกดังกล่าวนี้เองเมื่อน้ำยางได้รับคลื่นไมโครเวฟจึงถูกทำให้ร้อนขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว และเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นความร้อนที่เกิดก็จะยิ่งมากขึ้น จากการทดลองพบว่ายิ่งน้ำยางผ่านการพรีวัลคาไนซ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น อัตราเร็วของการระเหยออกของน้ำก็จะยิ่งมีค่ามากขึ้น และเป็นที่สังเกตได้อย่างชัดเจนว่าการพรีวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะมีอัตราเร็วของการระเหยออกของน้ำยางที่มากกว่าและใช้เวลาที่สั้นกว่าการพรีวัลคาไนซ์น้ำยางด้วยตู้อบความร้อนมาก ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 อัตราเร็วของการระเหยออกของน้ำจากน้ำยางภายหลังการพรีวัลคาไนซ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟและตู้อบความร้อน ณ อุณหภูมิ 60 °C ที่เวลาต่างๆ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและจัดสร้างเตาไมโครเวฟเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยางให้มีกำลังในการทำงานสูงสุด 800 วัตต์ โดยควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ มีระบบที่สามารถวัดอุณหภูมิของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้ thermo couple type K ในการวัดอุณหภูมิ และบันทึกข้อมูลด้วย Data logger โดยเตาที่ออกแบบและจัดสร้างสามารถระเหยน้ำออกจากน้ำยางได้เร็วกว่าเตาให้ความร้อนปกติที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสถึง 60 เท่า

เอกสารอ้างอิง

1. [Http://www.thailandrubber.thigov.net/knowledge_1m.html](http://www.thailandrubber.thigov.net/knowledge_1m.html) (2003) , สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง
2. [Http://www.bot.or.th/BOTHomepage/DataBank/Real Sector/agriculture/](http://www.bot.or.th/BOTHomepage/DataBank/Real Sector/agriculture/) (2003)ธนาคารแห่งประเทศไทย
3. [Http://www. Oie.go.th](http://www.Oie.go.th) (2002)สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม
4. เสาวรณีย์ ช่วยจุลจิตร (1994) - **เทคโนโลยีของยาง** , ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. Edward H. Grant (1991) – **Microwave : Industrila, Scientific, and Medical Applications** , Artech House, London.
6. Roger Meredith (1998) – **Engineers' Handbook of Industrial Microwave heating** , The Institute of Electrical Engineers, London.
7. S.L. Bai, V. Djafari, M. Andreani and D. Francois (1994) A Comparative of the Mechanical Behaviour of an Epoxy Resin Cured by Microwaves with One Cured Thermally - **European Polymer Journal** , 31(9): 875-884.
8. F.Y.C. Boey (1995) Humidity and Autoclave Pressure Effect on the Interfacial Shear Strength of a Microwave Cured Epoxy-Glass Fiber Composite – **Polymer Testing** , 14 : 471-477.
9. Chia L. H. L., J. Jacob and F.Y.C. Boey (1995) Radiation Curing of Poly-Methyl-Methacrylate Using a Variable Power Microwave Source – **Journal of Materials Processing Technology** , 48 : 445-449.
10. D. Martin, D. Ighigeanu, E. Mateescu, G. Craciun and A. Ighigeanu (2002) Vulcanization of Rubber Mixtures by Simultaneous Electron Beam and Microwave Irradiation – **Radiation Physics and Chemistry** , 65 : 63-65.
11. Jian Zhou, Chun Shi, Bingchu Mei, Runzhang Yuan and Zhengyi Fu (2003) Research on the Technology and the Mechanical Properties of the Microwave Processing of Polymer – **Journal of Materials Processing Technology** , 137 : 156-158.



สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ